

Aus der Medizinischen Poliklinik
der Universität Erlangen-Nürnberg
Direktor: Professor Dr. med. C. Korth

Das Belastungs-Ekg

Inaugural - Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde
der Hohen Medizinischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität
Erlangen-Nürnberg

vorgelegt
von
Sigrid Köppel
aus
Nürnberg

D 29

1969

Gedruckt mit Erlaubnis der Medizinischen Fakultät
der Universität Erlangen - Nürnberg



Dekan: Prof. Dr. A. Kröncke
Referent: Prof. Dr. J. Schmidt
Korreferent: Prof. Dr. C. Korth
Tag der mündl. Prüfung: 3.6.1969

Das Belastungs-Ekg

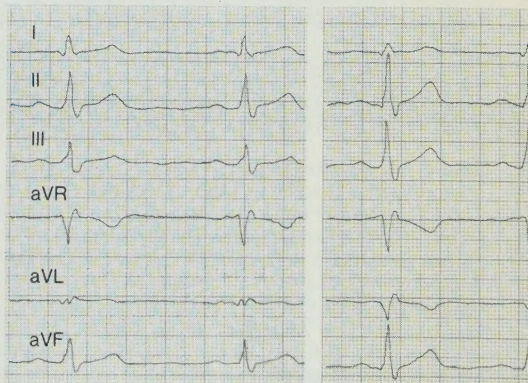
S. KÖPPEL und J. SCHMIDT

Aus der Medizinischen Poliklinik der Universität Erlangen-Nürnberg
(Direktor: Prof. Dr. C. Korth)

Wenn die Bedeutung des Belastungs-Ekg allein in der Erkennung einer Koronarinsuffizienz läge, dann käme diesem Untersuchungsverfahren eine sehr begrenzte Bedeutung zu. Heute aber gehört das Belastungs-Ekg zur Routine-Untersuchung, insofern es Bestandteil einer jeden Belastungsprüfung ist. Wenn aber das Belastungs-Ekg einmal von der unmittelbaren Verknüpfung mit der Frage nach der Koronarinsuffizienz befreit wird, dann ist der Blick des Untersuchers auch auf andere Abwandlungen des Kurvenverlaufes gerichtet, als nur allein auf die ST-Strecke und die T-Zacke.

Routineuntersuchung — Indikationen — eigene Untersuchungen — Untersuchungsbedingungen — Ableitungsarten — Ergebnisse — physiologische Befunde — »Tachykardie-Ekg« — P- und PQ-Veränderungen — Rechtsabweichung der elektrischen Herzachse — QRS-Gruppe schmaler — aufsteigende ST-Strecke — »Ankerform« — primär und sekundär abgeflachtes T — QT-Dauer — Besonderheiten — QRS-Verbreiterung auch bei Gesunden! — verschiedener ST-Verlauf — evtl. T-Inversion — pathologische Befunde

Abb. 1 u. 2. »Korrigierte« Standardableitungen, korrigiert insofern, als zur Vermeidung von Myogrammen die Elektroden für den re Arm am re Akromion, für den li Arm am li Akromion und für das li Bein unterhalb des li Rippenbogens (Medioklavikularlinie) angelegt wurden. Im Vergleich zum Ekg der üblichen Standardableitungen (Abb. 1) ist das Ekg der korrigierten Ableitungen in allen Extremitätenableitungen rechtstypischer (Abb. 2): R_I ist kleiner, R_{II} und R_{aVF} größer, S_{aVL} (auch S_{aVR}) größer; die P-Zacke ist im wesentlichen unverändert



Das Belastungs-Ekg dient

zur Prüfung der Leistungsfähigkeit in jedem Lebensalter,
zur Klärung der Einwirkung von Belastungsart, -intensität und -dauer auf das Herz,
zur Ermittlung der geeigneten und effektivsten Trainingsart, -intensität und -dauer,
zur Erhellung der präklinischen Kardiologie,
zur Beurteilung von Herzrhythmusstörungen,

zur Klärung auffälliger Veränderungen des Ekg,
zur Überprüfung therapeutischer Maßnahmen,
zur Verlaufsbeobachtung in der rehabilitativen Kardiologie,
eigentlich zur ärztlichen Beurteilung eines jeden, des Gesunden wie des Kranken.
Das Belastungs-Ekg gehört heute zu einem integralen Bestandteil einer Funktionsprüfung des Herzens. Daher ist es vonnöten, einmal

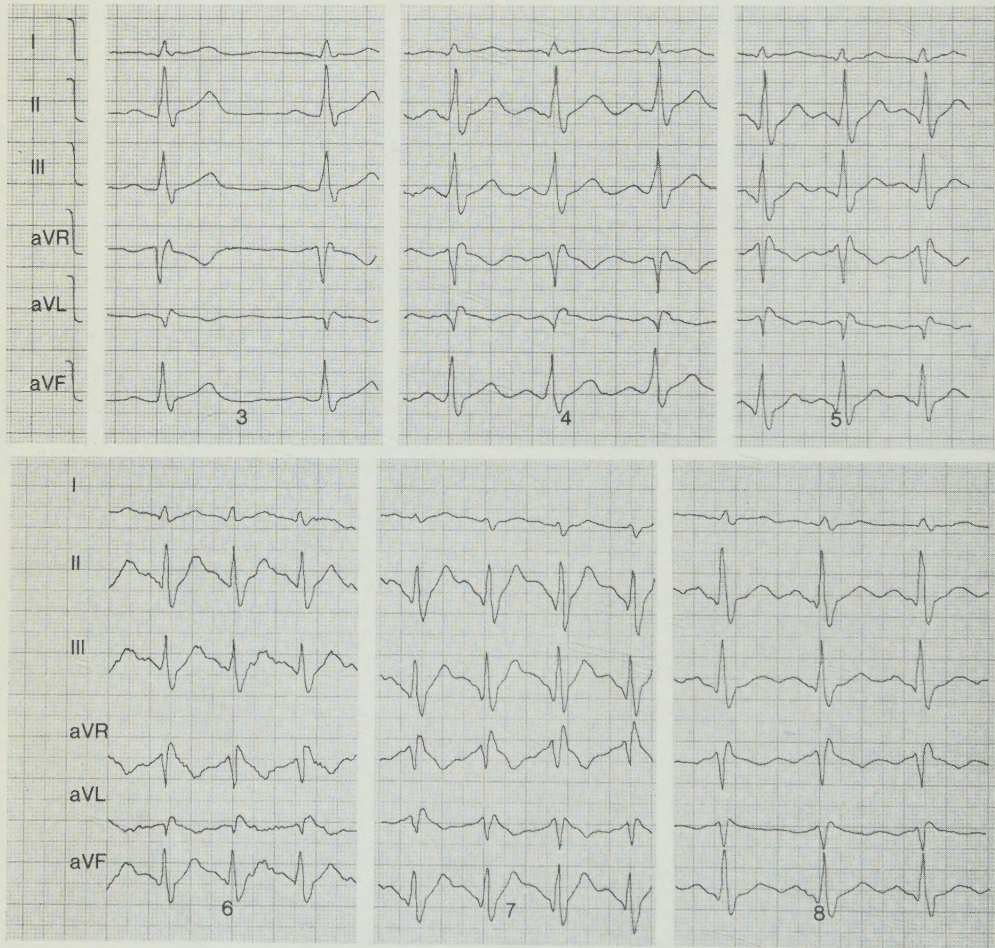
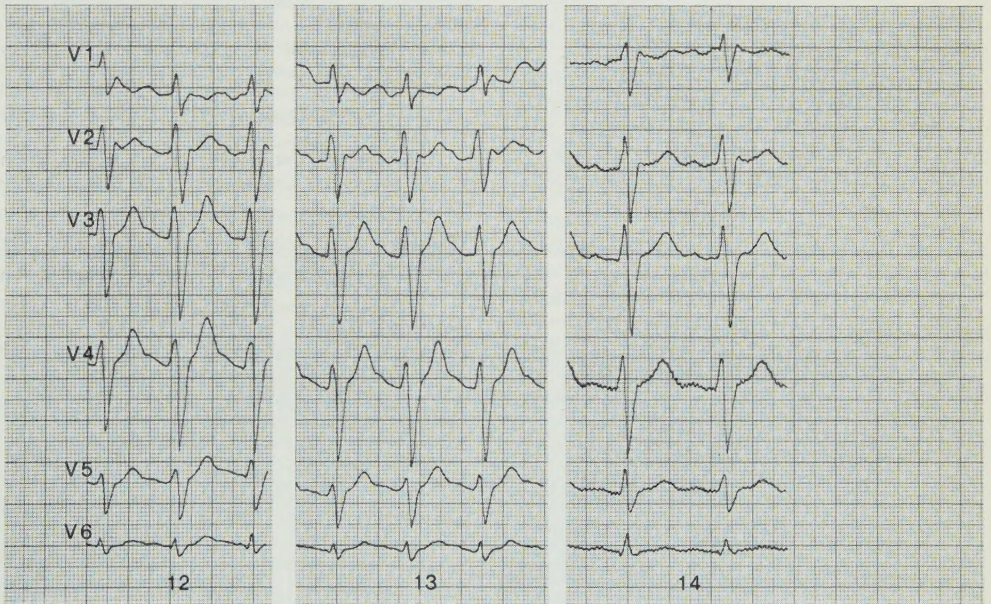
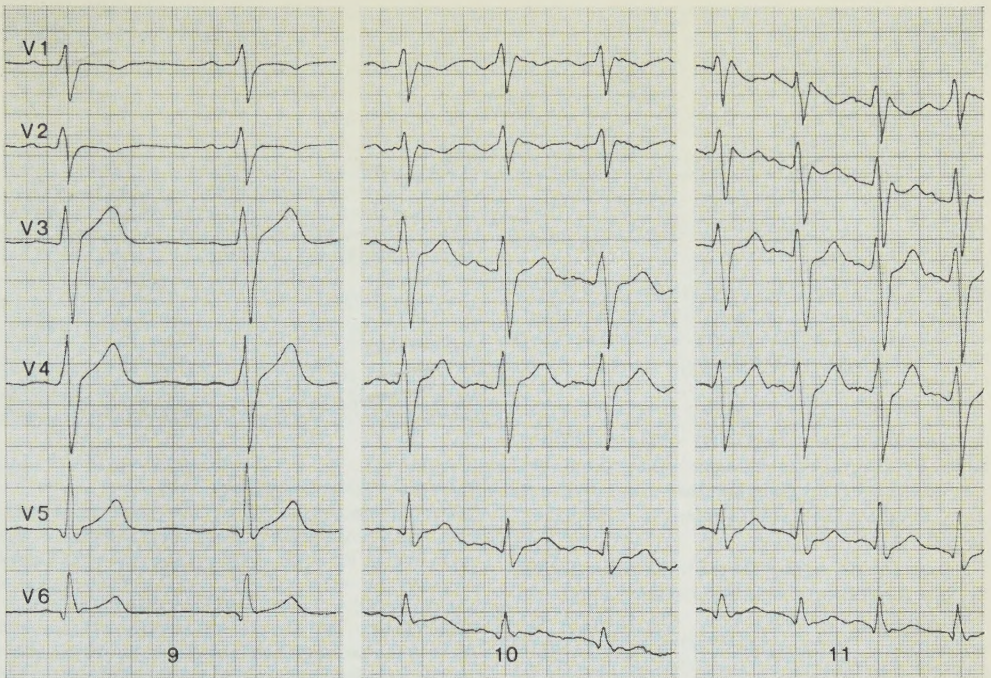


Abb. 3–14. Belastungs-Ekg (Fahrradergometer) in den Extremitätenableitungen (Abb. 3–8) und in den präkordialen Ableitungen (Abb. 9–14) bei einem 25j. Sportstudenten — **Abb. 3 u. 9.** Ruhefrequ. 80/min, Rechtsverspätung, hohe T-Zacken präkordial (Abb. 9) — **Abb. 4 u. 10.** 1. Belastungsstufe (100 W, 6 min); Frequ. 124/min, rechtstypisches (Sympathikus-) P; die plumpe S-Zacke ist größer, QRS aber nicht breiter geworden; jetzt kleine R-Zacke in den Abl. V1 und V2; Verlagerung der Übergangszone nach li (Linksdrainage des Herzens); kleinere Amplitude der Kammergruppe linkspräkordial und ein wenig rechtstypischeres Ekg (das Herz steht steiler und ist weiter von den Ableitungspunkten der li Thoraxwand entfernt) — **Abb. 5 u. 11.** 2. Belastungsstufe (200 W, 6 min); Frequ. 156/min; alle Zacken sind schmaler, die Strecken kürzer geworden; deszendierende Senkung des PQ-Segmentes, ascendierende Senkung der ST-Strecke (angedeutete »Ankerform« vom PQ-R-ST) — **Abb. 6 u. 12.** 3. Belastungsstufe



(250 W, 6 min); Frequenz 180/min; die S-Zacken sind in allen Ableitungen noch größer geworden (noch stärkere Linksrotation des Herzens) — **Abb. 7 u. 13.** Sofort nach Arbeitsende beträgt die Herzfrequenz 175/min; PQ scheint länger geworden zu sein; sonst ist das Bild des Belastungs-Ekg noch voll erhalten; das Ekg ist eher noch rechtstypischer geworden (ausgeprägte »Ankerform« in den Abl. II, III und aVF) — **Abb. 8 u. 14.** 6 min nach Beendigung der Belastung beträgt die Herzfrequenz 125/min; die Zacken und Strecken haben in ihrer zeitlichen Ausdehnung wieder Ruhewerte erreicht, in ihrer Form noch nicht (Rechtstyp, Verlagerung der Übergangszone nach li). Im übrigen ist das Bild ähnlich dem bei Abb. 4 u. 10 (1. Belastungsstufe): es besteht etwa die gleiche Frequenz (das Herz ist vielleicht noch etwas weiter nach li gedreht)

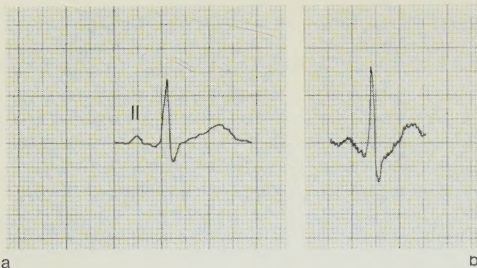


Abb. 15 a u. b. Das Belastungs-Ekg (b) zeigt gegenüber dem Ruhe-Ekg (a) eine typische Ankerform von PQ-R-ST: R in der Mulde von absteigendem PQ und aufsteigendem ST

nachzuprüfen, wie sich eine dosierte körperliche Belastung im üblichen Programm der 12 Ableitungen (6 Extremitäten- und 6 Brustwandableitungen) bei verschiedenen Menschen äußert.

Es gibt leider noch kein Standardprogramm für die Ausführung und Beurteilung eines Belastungs-Ekg. Deshalb sind die bislang gewonnenen Belastungs-Elektrokardiogramme nicht immer gut miteinander vergleichbar. Es sollten die Vorschläge zur Standardisierung des Belastungs-Ekg, wie sie auf einem Symposium über das Belastungs-Ekg (1967) geäußert wurden (*Blackburn u. Mitarb.*), Beachtung finden. Solange aber noch keine Einigung darüber besteht, wie ein Belastungs-Ekg ausgeführt und ausgewertet werden soll, ist es nötig, unter möglichst günstigen Ableitungs-

bedingungen den Einfluß körperlicher Belastung auf den Kurvenverlauf möglichst aller üblichen Ableitungen zu studieren.

Die Untersuchten (115)

Untersucht wurden:

51 Pat. (41 ♂, 10 ♀) im Alter von 19–64 J.; von diesen klagten 41 über Herzbeschwerden (2 infolge von Herzklappenfehlern, 7 infolge einer fortgeschrittenen Koronargefäßerkrankung; 6 hatten eine Hochdruckkrankheit, 26 vegetative Dysregulationsstörungen);

32 Gesunde (20 ♂, 12 ♀) im Alter von 18–32 J.; sie waren zu einer Routineuntersuchung gekommen;

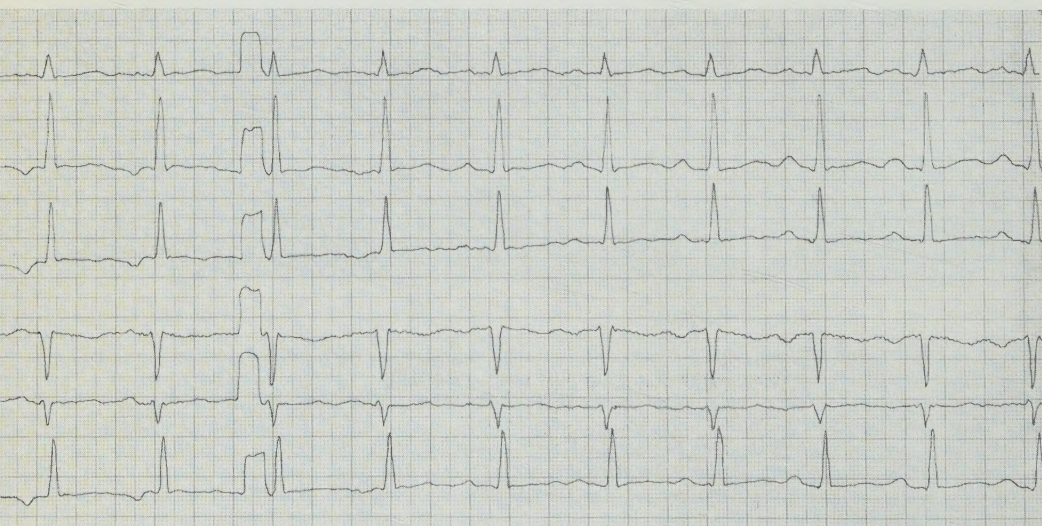
32 Gesunde, gut trainierte jugendliche Schwimmer (14 ♂, 18 ♀), im Alter von 12–18 J., die sich einer Sporttauglichkeitsuntersuchung gestellt hatten.

Untersuchungsbedingungen

Die Untersuchungen wurden im Liegen vorgenommen, und zwar bei Fixierung der Schultern; auf diese Weise konnten »Mitbewegungen« des Oberkörpers vermieden werden. Die 1. Belastungsstufe war, entsprechend dem Trainingszustand, für Sporttreibende auf 100 W, für untrainierte Männer auf 75 W und für untrainierte Frauen auf 50 W festgelegt. Wenn während 6 min eine Ergostase (ein relatives steady state) erreicht worden war und keine bedenklichen Veränderungen im Ekg aufgetreten waren, wurde die nächste Belastungsstufe, je nach der Höhe der erreichten Frequenz, um 100 W (bei niedriger Frequenz), um 50 W (bei erwarteter Herzfrequenz) oder um 25 W (bei hoher Frequenz) gesteigert.

Die Untersuchung ist jeweils sofort abgebrochen worden, wenn der Untersuchte über anginöse Be-

Abb. 16. Bei einem 24j. Studenten »wandert« zu Beginn der körperlichen Belastung, während die Herzfrequenz ansteigt, der kaudal gelegene Schrittmacher (Bild des av-Rhythmus) aufwärts bis in die höheren Abschnitte des Sinusknotens (»Sympathikus-P«)



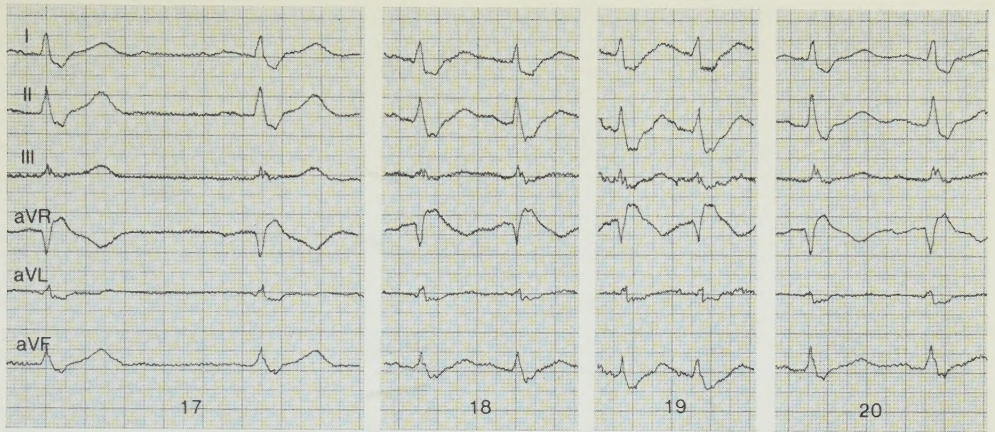


Abb. 17–20. Rechtsschenkelblock (Extremitätenableitungen) bei einem 42j. Fußballspieler, der bis vor einem $\frac{1}{2}$ J. noch regelmäßig an Wettkämpfen teilgenommen hat. Ruheherzfrequ. 54/min (Abb. 17); vorübergehende Verbreiterung der plumpen S-Zacken während der Belastung (100 W: Herzfrequ. 120/min, Abb. 18; 150 W: Herzfrequ. 150/min, Abb. 19; 6 min nach der Belastung: Herzfrequ. 96/min, Abb. 20)

schwerden klagte oder wenn im Ekg Zeichen einer Ischämiereaktion des Herzens zu sehen waren. Bei mehreren Patienten allerdings mußte die Untersuchung schon vor Erreichen einer Herzfrequenz von 170/min abgebrochen werden, da Schmerzen in den Beinen auftraten; das kam fast bei jedem 3. Untrainierten vor, ein Zeichen dafür, wie schlecht der allgemeine Trainingszustand ist und wie ausgeprägt bereits hypokinetische Veränderungen entwickelt sind.

Ableitungsart

Es wurden die Brustwandableitungen (V1–V6) gewählt. Die Extremitätenableitungen mußten jedoch, um Myogramme zu vermeiden, »korrigiert« werden. So wurde die Elektrode für den rechten Arm am rechten Akromion, für den linken Arm am linken Akromion, für das linke Bein unterhalb des linken Rippenbogens in der Medioklavikularlinie (und für die Erdung entsprechend rechts) angelegt. Das Einthovensche Dreieck wird auf diese Weise etwas verschoben und das Ekg dadurch, im Vergleich zu den üblichen Standardableitungen, etwas steiltypischer (vgl. Abb. 1 u. 2). Das gilt zumal für querliegende Herzen; bei großen und asthenischen Probanden ist kein Unterschied zum Standard-Ekg festzustellen.

Untersuchungsergebnisse

I. Das physiologische Belastungs-Ekg (Abb. 3–14)

Während der Sinustachykardie entsteht folgendes Bild:

1. Mit zunehmender Frequenz rücken alle Zacken näher zusammen; vor allem wird die TP-Strecke kürzer, bis T mit P vielleicht sogar verschmilzt. Das Phänomen »P auf T« ist allein frequenzabhängig; es ist häufiger bei Untrainierten oder vegetativ Labilen als

bei »Normal-Personen« oder Sportlern (relativ kürzere QT-Dauer bei hoher Frequenz).

2. Die P-Zacke wird rechtstypisch, und sie nimmt in den Ableitungen II und III an Größe zu (»P sympathicum«, Curtius u. Krüger). Es darf angenommen werden, daß mit zunehmendem Sympathikuston der Schrittmacher des Herzens im Sinusknoten »aufwärts« wandert, und es allein schon dadurch zu einer steileren Stellung des P-Vektors kommt (vgl. bei Korth u. Schmidt).

3. Das PQ-Segment senkt sich entsprechend der Amplitudenzunahme von P deszendierend; diese Diskordanz von P und Ta (= Repolarisationsphase der Vorhoferregung) ist bei Jugendlichen besonders stark ausgeprägt, und sie ist bei der Belastungs-Tachykardie offensichtlich stärker als bei einer Ruhetachykardie (vgl. auch bei Lepeschkin).

4. Die PQ-Zeit wird während der Belastung kürzer; die größte Abnahme der PQ-Zeit erfolgt bereits in der 1. Belastungsminute. Je kürzer die PQ-Zeit in Ruhe, desto weniger und desto später wird sie bei Belastung kürzer; bei gut Trainierten kann die PQ-Zeit besonders kurz werden (bis 0,08 sec).

5. Die elektrische Herzachse weicht nach rechts hin ab, und zwar um so stärker, je linkstypischer das Ruhe-Ekg war; die Rechtsabweichung ist bei Sportlern seltener und weniger stark ausgeprägt als bei Untrainierten (Butschenko). Werden die Kammergruppen biphasisch, dann ist die Rechtsabweichung nicht mehr gut berechenbar. (Eine Art Linksabweichung, festgestellt allein durch eine Größenzunahme von R in Abl. I und eine

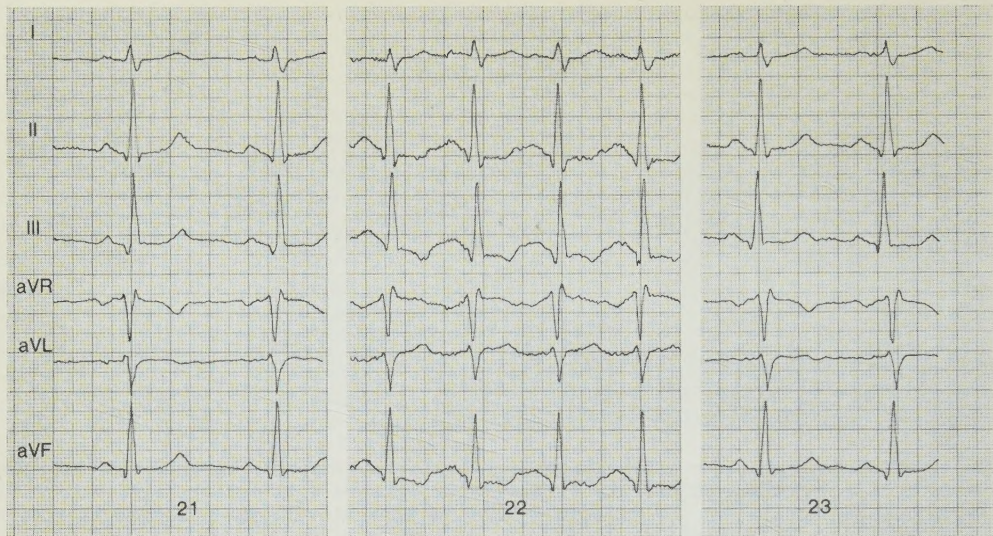
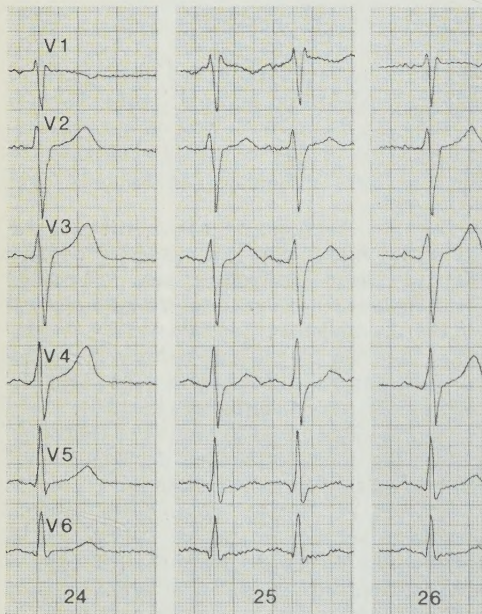


Abb. 21–26. Konvexbogenförmige Senkung von ST in den Abl. III, aVF, auch II (Abb. 22) bei einem 24j. gesunden Sportstudenten während einer Belastung von 150 W (Fahrradergometer): Frequenz 140/min; in den präkordialen Ableitungen (Abb. 25) ist die ST-Senkung nur angedeutet und T ist nur abgeflacht. 6 min nach Beendigung der Belastung ist das Bild wieder regelrecht (Abb. 23 u. 26)



Größenzunahme von S in Abl. III, ist selten und ohne pathologische Bedeutung.)

6. In den Standardableitungen kann ein S_I (Q_H) Q_{III} -Typ von QRS entstehen (Abb. 7); gleichzeitig ist in den präkordialen Ableitungen die Übergangszone von R zu S weit nach links verschoben, mitunter so weit, daß bis zur Abl. V6 nur S-Zacken erscheinen (Abb. 13).

Die Ursache für diese Formabwandlung von QRS ist offensichtlich eine starke Drehung des Herzens nach links (bei gleichzeitigem Zwerchfelltieftstand, d. h. bei gleichzeitiger Steilstellung des Herzens).

7. Die QRS-Gruppe wird bei sporttreibenden Jugendlichen regelmäßig schmaler. Doch ist die Verkürzung während der Belastung durchwegs gering (0,01 sec, maximal 0,02 sec). Die Verschmälerung von QRS bei Belastung (vgl. auch bei *Scherf*) ist eine offensichtlich sympathikotone Reaktion (Erhöhung der intraventrikulären Leitungsgeschwindigkeit). Die Belastungsver schmäl erung von QRS ist keineswegs regelmäßig, und ein Ausbleiben läßt nicht etwa den Rückschluß auf krankhafte Veränderungen zu.

8. Die ST-Str e c k e: Während der Belastung setzt die Verbindung der ST-Strecke an der QRS-Gruppe, der Punkt J (*»junction«*), in den Ableitungen mit großer P- und R-Zack e oft etwas tiefer an; diese Senkung von ST steigt üblicherweise zur T-Zack e auf (*»aszendierende Senkung von ST«*). Durch Superposition von T und P infolge der Tachykardie kann eine ST-Senkung vorgetäuscht werden (die Nulllinie wird zu hoch angesetzt).

Ursache der frequenzbedingten ascendierenden Senkung von ST ist ganz wahrscheinlich der Einfluß der Diskordanz von P und T_a , d. h. in den Ableitungen mit den größten P-Zacken ist die Senkung von PQ und ST (= T_a) am größten. Auch eine wahre Senkung

von ST kann infolge der schneller ablaufenden Repolarisation entstehen. Die frequenzbedingte Senkung von ST wird nicht bemerkbar, wenn zuvor (z. B. bei erhöhtem Vaguseffekt auf das Herz) ST erhöht war («Vagus-Ekg»).

9. In manchen Ableitungen, zumal in Abl. II, III und aVF entsteht oft eine »Ankerform« des Ekg (Abb. 7, Abl. II, III, aVF u. Abb. 15), d. h. zwischen P und T ragt die R-Zacke aus einer absteigenden Senkung von PQ und einer aufsteigenden Senkung von ST hervor (Abb. 15 b).

10. Die T-Zacke flacht sich während der Belastung zumeist ab, und zwar auch unabhängig von Änderungen der QRS-Gruppe. Die Höhe der T-Zacke macht gewöhnlich eine »Pendelbewegung« durch: Zunächst kommt es zu einer »primären T-Abflachung«, 2 min später zu einer T-Erhöhung, die mit Beendigung der Belastung noch zunimmt und 1 min später besonders groß ist; 4 min nach der Belastung wird die T-Zacke wieder kleiner (»sekundäre T-Abflachung«; Klepzig u. Mitarb., Butschenko).

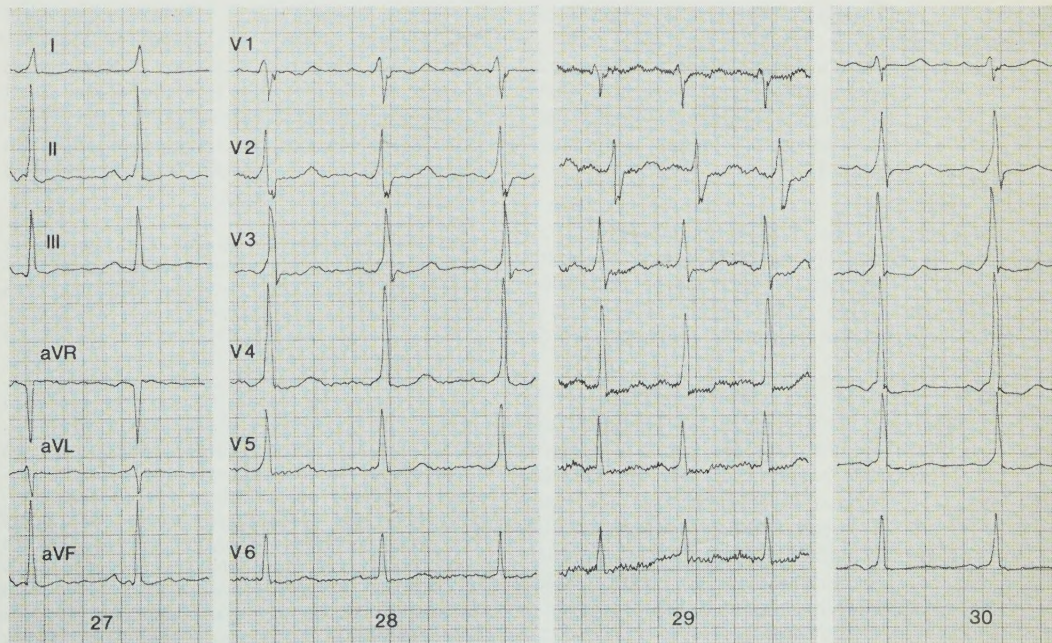
Die Depression von T ist in den Ableitungen mit der größten QRS-Gruppe am deutlichsten

und ganz wahrscheinlich Ausdruck des erhöhten Sympathikustonus während der Umschaltphase. Je geringer der Trainingszustand, je labiler der Tonus im vegetativen Nervensystem des Untersuchten und je höher die Belastung, desto früher hebt sich die T-Zacke wieder an. Vielleicht ist die Hebung von T die reflektorisch ausgelöste vagische Reaktion auf die in Gang kommende Blutdruckerhöhung infolge der Belastung; wird gleichzeitig Atropin gegeben, bleibt nämlich die T-Erhöhung aus (Lepeschkin).

Die aus einer gesenkten ST-Strecke aufsteigende T-Zacke ist die »Erregungsform«, die aus einer gesenkten ST-Strecke hervorgehende flache oder negative T-Zacke die »Ermüdungsform« der Erregungsrückbildung bei Belastung (vgl. bei Lemmerz u. Haan).

11. Die QT-Dauer wird regelmäßig absolut kürzer. Die frequenzbezogene, relative QT-Verkürzung wird jedoch von jedem 2. Untersuchten nicht erreicht. Bezeichnend ist, daß sich QT vor allem bei den gut Trainierten entsprechend der Frequenzerhöhung verkürzt, nicht dagegen bei den vegetativ Labilen. Ein kurzes QT-Intervall gilt als Zeichen eines guten

Abb. 27–30. WPW-Syndrom (WPW-Ekg und Neigung zu paroxysmalen Tachykardien) bei einem 23j. Mann, der ein regelmäßiges Leichtathletiktraining betreibt: PQ 0,1 sec, Δ -Welle, muldenförmig gesenkte ST-Strecke in den Abl. mit den größten R-Zacken (II, aVF, V3–V5); Kerbe in den T-Zacken der Abl. II, III und aVF (Abb. 27 u. 28). Während der Belastung (150 W) ist die Senkung von ST stärker ausgeprägt und T ist flacher (Abb. 29); 15 min nach Beendigung der Belastung ist T noch flach und die ST-Senkung immer noch deutlich ausgeprägt (Abb. 30)



Funktionszustandes des Herzmuskels, da es einer relativ langen diastolischen Erholungsphase vorausgeht. Die Verkürzung von QT erreicht nicht sogleich (*Lepeschkin*), sondern nach einer Phase der relativen QT-Verlängerung erst auf der Höhe der Belastung den kürzesten Wert.

12. Eine U-Welle kann bei Belastung auftreten oder stärker hervorkommen. Die U-Wellen sind aber während der Belastung nur selten gut auszumachen und daher nicht zu beurteilen; sie verschmelzen gewöhnlich mit den P-Zacken.

Nach der Belastung bildet sich das »Tachykardie-Ekg« innerhalb von 3–5 min wieder zu einem Ruhe-Ekg zurück. Nur die T-Zacke wird zunächst noch größer, oft über die Ruhewerte hinaus, offenbar als Zeichen einer vegetativen Umschaltung zur Vagotonie. Im weiteren Verlauf der Erholungsphase aber wird die T-Zacke wieder flach und es entsteht ein Bild, das dem der orthostatischen Reaktion sehr ähnlich ist (das Blut wird vermehrt der Peripherie zugeteilt); Sympathikomimetika (Blutdruckerhöhung) können nämlich die »sekundäre T-Abflachung«, die bei Patienten mit uncharakteristischen Herzbeschwerden sehr beständig sein kann, verhindern (*Lepeschkin*). Auch die Zeichen der Linksdrehung des Herzens können über die Zeit von 5 min hinaus erhalten bleiben.

II. Besonderheiten

1. Ein Wechsel im Standort des supraventrikulären Schrittmachers trat nur bei Trainierten auf, und zwar am häufigsten in der Erholungsphase, oft ausgelöst durch vertiefte Inspiration. Ein av-Rhythmus wird während der Belastung immer zum Sinusrhythmus (Abb. 16).

2. Eine respiratorische Arrhythmie ist besonders bei Trainierten ausgeprägt, zumal in der Erholungsphase; auch vegetativ Labile haben mitunter eine starke respiratorische Arrhythmie. Während der Belastung ist die Herzfrequenz nicht mehr abhängig von der Atmung.

3. Extrasystolen traten als monomorphe Kammerextrasystolen auch bei Herzgesunden (bei Sportlern und vegetativ Labilen), zumal in den Umschaltphasen (bei Beginn der Belastung und nach Belastungsende), auf, während sie im steady state selten wurden oder ganz verschwanden. Bei anderen Untersuchten, auch bei Herzgesunden, waren Extrasystolen erst während der Belastung (Sympathikusreiz) anzutreffen.

4. Nur ausnahmsweise (nur bei 2 herzgesunden Untersuchten) behielt die PQ-Zeit während der Belastung den Ruhewert und wurde nicht kürzer.

5. Eine Verbreiterung von QRS während der Belastung ist auch bei Herzgesunden nicht selten, zumal nicht bei vegetativ Labilen; sie kann auch nach der Belastung bestehen bleiben, ja sogar (sehr selten) noch stärker werden. Die Verbreiterung von QRS besagt nicht unmittelbar, daß eine Herzerkrankung besteht, sondern bedeutet lediglich, daß die intraventrikuläre Erregungsleitung auf dem üblichen Wege erschwert ist.

Bei 2 Untersuchten (42 und 43 J. alt), die regelmäßig Sport betrieben (Radfahren, Fußball), bestand in Ruhe ein Rechtsschenkelblock. Während der Belastung kam es nach einer kurzen Verbreiterung zu einer Verschmälerung von QRS, und 150 W wurden bei einer Herzfrequenz von 150/min ohne Schwierigkeiten und ohne Beschwerden bewältigt (Abb. 17–20).

6. Die ST-Strecke kann bei Herzgesunden nicht nur ascendierend, sondern auch horizontal oder deszendierend gesenkt sein. *Alle Formen einer ST-Senkung wurden bei allen Untersuchungsgruppen gefunden, wenn auch nicht in der gleichen Häufigkeit.* Die nicht-ascendierende Senkung ist bei Herzgesunden (Abb. 21–26) nicht eben häufig; zumal in der Abl. III kann die ST-Strecke in ihrer gesamten Ausdehnung gesenkt sein.

Auffällige ascendierende ST-Senkungen sind als Zeichen einer »Hypersympathikotonie« oder einer Hyperaktivität der β -Rezeptoren anzusehen (*Delius*); die Senkung kann durch β -Rezeptorenblocker vermieden werden.

Die ascendierenden ST-Senkungen gelten im allgemeinen als Folge der Tachykardie und als klinisch unbedeutend.

Doch haben einige Untersuchte auch bei hoher Belastung (200 W und mehr) eben keine ST-Senkungen. *Robb* und *Marks* konnten feststellen, daß bei Untersuchten mit ascendierenden ST-Senkungen die Sterblichkeit höher war als bei denen ohne ascendierende ST-Senkung bei Belastung. Auch *Roskamm* spricht von einer »Funktionsminderung des Herzens«, da der Quotient Herzvolumen/maximaler Sauerstoffpuls bei denen mit ascendierender ST-Senkung größer (also ungünstiger) war. Die Untersuchten mit ST-Senkung haben nach der geltenden Meinung bei Belastung infolge einer »Hyperreaktion des Sympathikus« eine »Dysharmonie des Koronarstoffwechsels«, und dieser Zustand wirkt sich mit der Zeit offenbar ungünstig aus; die Untersuchten ohne ST-Senkung aber haben eine »ausgeglichene, harmonische Stoffwechsellage des Herzmuskels«.

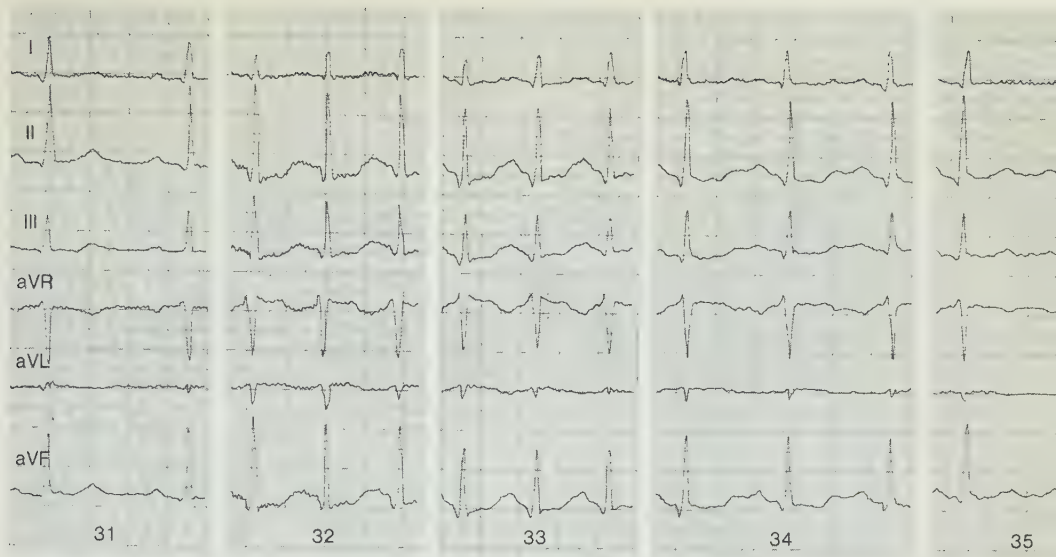


Abb. 31–40. Konvexbogenförmige Senkung von ST (Abb. 32 u. 37) bei einem 47j. Mann (anginöse Herzbeschwerden) während einer Belastung von 150 W (Fahrradergometer). Bemerkenswert ist, daß sofort nach Arbeitsende die ST-Senkung in den Extremitätenableitungen (Abb. 33) noch deutlich ist, in den präkordialen Ableitungen (Abb. 38) aber fehlt, doch 3 min später (Abb. 39) wieder auftritt (knickförmiger Übergang von ST in T!). 12 min später ist die ST-Strecke wieder zur Nulllinie zurückgekehrt, doch die T-Zacken sind (zumal linkspräkordial) immer noch flach (Abb. 40)

Wir selbst konnten allerdings beobachten, daß die aszendierende ST-Senkung bei Patienten mit »vegetativen Beschwerden« nicht so häufig war wie bei den anderen Untersuchten.

7. Die T-Zacken sind durch die Belastung sehr veränderlich und schwanken zwischen »positiv«, »abgeflacht« und »negativ«, zumal während der Umschaltphasen. Die Schwankungen sind in den Brustwandableitungen und in der Abl. III besonders groß; in Abl. III kann die T-Zacke auch bei Herzgesunden, zumal bei Jugendlichen mit einem steiltypischen Kammer-Ekg, negativ werden und sie wird negativ, wenn sie zuvor schon abgeflacht war. Die Abl. III ist daher keine geeignete Ableitung, wenn es in Anbetracht von ST und T um gesund oder krank geht. Auch in den anderen Ableitungen dürfen auffällige Veränderungen von T nicht ohne weiteres als Zeichen einer Koronarinsuffizienz angesehen werden; eine isolierte vorübergehende T-Inversion in einigen Brustwandableitungen ist bei vegetativ Labilen in den Phasen der Umstellung zur Belastung gar nicht so selten.

Wenn auch bei Herzgesunden und bei beschwerdefreien jungen Sportlern im Belastungs-Ekg eine Senkung von ST und eine Negativierung von T auftreten können, so sollte doch jede solche auffällige Reaktion Anlaß zu einer gründlichen klinischen Untersuchung sein, auch wenn die Leistungsprüfung (der Herzgröße entsprechende Leistung) eine volle Leistungsfähigkeit ergab; schwelende Infekte können sich nämlich in Veränderungen von ST und T bemerkbar machen. Aber diese Auffälligkeiten könnten auch Relikte nach abgelaufenen Erkrankungen oder Varianten des Normalen sein.

Die zweifelhafte Bedeutung einer horizontalen ST-Senkung zeigt folgende bemerkenswerte Beobachtung: Ein junger, regelmäßig sporttreibender Mann mit WPW-Syndrom (WPW-Ekg und gelegentlichem Herzjagen) leistet mühelos 200 W 6 min lang im steady state mit einer maximalen Herzfrequenz von 160/min; er bekommt während der 1. Belastungsstufe eine horizontale ST-Senkung, während der 2. (200 W) geht die horizontale in eine aszendierende ST-Senkung über, sofort nach Belastung tritt wieder die horizontale ST-Senkung auf (Abb. 27–30).

III. Krankhafte Veränderungen

1. Bei 2 Herzkranken kam es zur Vorhofftachykardie mit partieller Blockierung; sofort nach Belastung übernahm der Sinusknoten wieder die Führung des Herzens und jede Vorhoferregung wurde übergeleitet.

2. Eine Verlängerung der PQ-Zeit entstand gleich zu Beginn der Belastung bei 2 Kranken mit altem Hinterwandinfarkt des Herzens. Sofort nach der Belastung wurde die PQ-Zeit wieder kurz. Dieses Verhalten ist ein Beweis mehr für die Forderung nach einem Ekg während der Belastung. Ein Längerwerden der PQ-Zeit während der Belastung spricht für erschwerte Leitungsbedingungen im Überleitungssystem (av-System).

3. Polymorphe Kammerextrastolen sind bei pathologischem Ruhe-Ekg (z. B. Herzinfarkt) als eine krankhafte Reaktionsweise des Herzens anzusehen.

4. Eine horizontale, deszendierende oder muldenförmige Senkung der ST-Strecke kann eine Koronarinsuffizienz ankündigen und anginösen Beschwerden vorausgehen. Diese Formen von ST dürfen als Zeichen einer Ischämie des Herzmuskels angesehen werden, vor allem dann, wenn ST knickförmig in die T-Zacke übergeht (Abb. 31–40).

5. Es kann während der Belastung zu paradoxen Reaktionen der Erregungsrückbildung kommen: Die gesenkte ST-Strecke und (oder) negative T-Zacke zeigen während der Belastung eine vorübergehende »Besserung« durch »Normalisierung« des Bildes; in der Erholungsphase aber treten die ischämischen Veränderungen der Erregungsrückbildung wieder deutlich hervor.

6. Negative T-Zacken in den präkordialen Ableitungen (zumal linkspräkordial) oder in den mittleren präkordialen Ableitungen) können Ischämiezeichen sein; sie sind es sicher, wenn gleichzeitig die ST-Strecke gesenkt ist.

7. Zu einer Verlängerung der QT-Dauer kam es während der Belastung nur bei Herzkranken.

Die deutlichsten Abwandlungen des Ekg treten zu Beginn der Belastung auf. Die metabolischen Veränderungen sind in der Umstellungsphase von der Ruhe zur Arbeit am größten, und die kompensatorischen Mechanismen haben noch nicht eingesetzt (*Bellet*).

Zusammenfassung

Das Belastungs-Ekg gehört heute zu den wichtigsten kardiologischen Untersuchungen, da die telemetrische Elektrokardiographie unter den verschiedenen Bedingungen körperlicher Belastung zur Informationsquelle schlechthin geworden ist. Krankhafte Veränderungen des Belastungs-Ekg sind vor allem als horizontale und deszendierende ST-Senkungen bekannt; über sie wird viel geschrieben und gesprochen. Weniger bekannt

sind jene Besonderheiten und Auffälligkeiten, die Zweifel erregen, weil sie sowohl bei Gesunden als auch bei Herzkranken vorkommen können und daher Unsicherheit in der Beurteilung erzeugen, wenn nicht der Ekg-Befund in den klinischen Befund integriert wird.

An 83 Patienten der Medizinischen Poliklinik (51 Herzkranken und 32 Herzgesunden) und an 32 Sportlern wurde das Belastungs-Ekg im üblichen Ableitungsprogramm der 12 Ableitungen studiert. 3 Gruppen von Reaktionen lassen sich unterscheiden:

1. Die üblichen Reaktionen (das physiologische Belastungs-Ekg), die im allgemeinen un-

schwer zu verstehen sind (Tachykardie mit zeitlicher Raffung der Zacken und Strecken und große rechtstypische P-Zacke),

2. Varianten und Besonderheiten, die im allgemeinen Unsicherheit auslösen (ST gesenkt, T negativ, Rhythmusstörungen),

3. krankhafte Veränderungen (das pathologische Belastungs-Ekg), die für eine metabolische Belastungsinsuffizienz des Herzens sprechen (ST-Senkungen, die knickförmig in die T-Zacke übergehen, negative T-Zacken bei gesenkter Strecke, polymorphe Kammerextrasystolen, Verlängerung von PQ und QT).

LITERATUR

BELLET, S.: **Clinical disorders of the heart beat**. Lea & Febiger, Philadelphia 1963. — BELLET, S. a. O. F. MÜLLER: *Circulation* **32**, 477 (1965). — BLACKBURN, H. u. Mitarb.: **Standardization of the Exercise Electrocardiogram**, In: M. J. KARVONEN a. A. J. BARRY: **Physical Activity and the Heart**. Thomas, Springfield, Ill., S. 101, 1967. — BUTSCHENKO, L. A.: **Das Ruhe-Belastungs-Elektrokardiogramm bei Sportlern**. Barth, Leipzig 1967. — CURTIUS, F. u. H. KRÜGER: **Das vegetativ-endokrine Syndrom der Frau**. Urban u. Schwarzenberg, München 1952. — DELIUS, W.: *Med. Klin.* **29**, 1128 (1967). — HEINECKER, R.: *Dtsch. med. Wschr.* **90**, 15 (1965). — KLEPZIG, H., D. MÜLLER u. H. REINDELL: *Z. Kreislforsch.* **45**, 741 (1956). — KORTH, C. u. J. SCHMIDT: **Klinische Elektrokardiographie**. Urban & Schwarzenberg, München-Berlin-Wien 1969, S. 308. — LEMMERZ, A. H. u. D. HAAN: **Praktisch-synoptische Ekg-Interpretation**. Beckmann, Werne a. d. Lippe 1959. — LEPESCHKIN, E.: **Das Elektrokardiogramm**. Steinkopff, Dresden und Leipzig 1957. — ROBB, G. P. a. H. H. MARKS: *Amer. J. Cardiol.* **13**, 603 (1964). — ROMAN, L. a. S. BELLET: *Circulation* **32**, 435 (1965). — ROSKAMM, H. u. Mitarb.: *Dtsch. Arch. klin. Med.* **209**, 331 (1964). — SCHERF, D.: *Amer. J. Cardiol.* **5**, 433 (1960).

Prof. Dr. J. Schmidt, 852 Erlangen, Burgbergstraße 33

Dr. Sigrid Köppel, 85 Nürnberg, Kolbergerstraße 22

Lebenslauf

Am 23. März 1943 wurde ich als Tochter des Arztes Dr. Gernot Köppel und seiner Ehefrau Anne Marie, geb. Herrling, in Nürnberg geboren. Während meiner ersten Lebensjahre wohnte ich in Colmburg bei Ansbach/Mfr., wo ich auch die beiden ersten Klassen der Volksschule besuchte. 1951 verzog ich mit meiner Familie wieder nach Nürnberg. Hier trat ich nach zwei weiteren Volksschuljahren in das Humanistische Melanchthon-Gymnasium ein, in dem ich auch die Reifeprüfung ablegte. Im Wintersemester 1962/63 begann ich mit dem Medizinstudium. Vorphysikum und Physikum bestand ich 1963 bzw. 1965. In den Semesterferien famulierte ich in den Fächern Innere Medizin, Chirurgie und Kinderheilkunde. Die ärztliche Prüfung legte ich im Sommersemester 1968 an der Universität Erlangen - Nürnberg ab. Die Medizinalassistentenzeit begann ich im Oktober 1968 in der Staatlichen Kurklinik für Innere Krankheiten in Bad Ems.

